

© EPODOC / EPO

PN - DE2616393 A 19771103
PD - 1977-11-03
PR - DE19762616393 19760414
OPD - 1976-04-14
IN - WERNER KARL DR
PA - DEUTSCHE BUNDESBAHN
EC - B60B17/00 ; E01B5/00 ; F16F15/32
IC - B60B17/00

© WPI / DERWENT

TI - Dampened railway wheels and axles - has resonant frequencies set to eliminate vibration and reduce rail wear
PR - DE19762616393 19760414
PN - DE2616393 A 19771103 DW197745 000pp
PA - (DEBU) DEUT BUNDESBAHN
IC - B60B17/00
AB - DE2616393 The wheels and axles of the trains are dampened in such a way that the resonant frequencies of the axle sets is enhanced or lowered to such levels which are outside the normal conditions. This reduces the resonant lateral vibrations which lead to oscillating wear on the rails.
- The train only suffers from the resonant vibrations as it travels through the new levels, which are selected at values which are not normally kept to for long periods. The damping is combination of axle and tyre damping. The damping and balancing masses are carried on the axles and are adjustable to compensate for corrosion and wear.
OPD - 1976-04-14
AN - 1977-K0246Y [45]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑤

Int. Cl. 2:

B 60 B 17/00

⑱ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

DEUTSCHES



PATENTAMT

DT 26 16 393 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 26 16 393

⑫

Aktenzeichen:

P 26 16 393.9

⑬

Anmeldetag:

14. 4. 76

⑭

Offenlegungstag:

3. 11. 77

⑳

Unionspriorität:

③② ③③ ③①

⑤④

Bezeichnung:

Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln und Einrichtungen zur Durchführung der Verfahren

⑦①

Anmelder:

Deutsche Bundesbahn,
vertreten durch das Bundesbahn-Zentralamt Minden, 4950 Minden

⑦②

Erfinder:

Werner, Karl, Dr., 3062 Bückeburg

DT 26 16 393 A 1

Patentansprüche:

- 1 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Achswellenbiegeeeigenfrequenz vergrößerte oder verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft oder angeregt wird.
- 2 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad sowohl die um die halbe Achswellenbiegeeeigenfrequenz vergrößerte als auch die um die halbe Achswellenbiegeeeigenfrequenz verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft wird.
- 3 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Achswellenbiegeeeigenfrequenz vergrößerte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft und die

um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt angeregt wird.

- 4 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz vergrößerte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt angeregt und die um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft wird.
- 5 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerte oder verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft oder angeregt wird.
- 6 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad sowohl die um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerte als auch die um die halbe Gleiseigenfrequenz verminderte Grundfrequenz

der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft wird.

- 7 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft und die um die halbe Gleiseigenfrequenz verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt angeregt wird.
- 8 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt angeregt und die um die halbe Gleiseigenfrequenz verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft wird.
- 9 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß am Radsatz, am unabgefederten Teil

des Laufwerkes und/oder am Gleis eine der Achswellenbiegeeigenschwingungen und/oder eine der Gleiseigenschwingungen gedämpft wird.

- 10 Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Geschwindigkeitsbereich, in dem sich vorzugsweise Riffeln bilden, Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit vermieden werden und daß dieser Geschwindigkeitsbereich beim Beschleunigen und Verzögern möglichst schnell durchfahren wird.
- 11 Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Planung von Strecken und Fahrzeugen deren zulässige Höchstgeschwindigkeiten so festzulegen sind, daß sie nicht in dem Geschwindigkeitsbereich liegen, in dem sich vorzugsweise Riffeln bilden.
- 12 Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 einerseits mit einem der Verfahren 5 bis 8 andererseits kombiniert ist.
- 13 Verfahren nach Ansprüchen 1 bis 9 und Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 12 mit dem Verfahren nach Anspruch 9 kombiniert ist.

- 14 Einrichtung zur Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 1, 2, 5, 6 oder 12 oder teilweisen Durchführung eines der Verfahren 3, 4, 7, 8, 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß am Eisenbahnrad an sich bekannte Resonanzabsorber angebracht sind, die auf eine oder mehrere bevorzugt zu dämpfende Frequenzen nach Ansprüchen 1 bis 8 abgestimmt sind.
- 15 Eisenbahnrad zur Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 1 oder 5 oder zur teilweisen Durchführung eines der Verfahren nach Anspruch 3, 4, 7, 8, 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Eisenbahnrad unter Berücksichtigung seines Werkstoffes so dimensioniert ist, daß die Umlauffrequenz der von der Berührungsfläche zwischen Rad und Schiene ausgehenden Rayleighwellenimpulse gleich der um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz oder um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerten oder verminderten Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen oder gleich einem kleinen ganzzahligen Vielfachen davon ist.
- 16 Eisenbahnrad nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Eisenbahnrad den in einem Fahrzeugpark üblichen Radkranzquerschnitt besitzt und einen Durchmesser auf-

weist, bei dem die Umlauffrequenz der von der Berührungsfläche zwischen Rad und Schiene ausgehenden Rayleighwellenimpulse gleich der um die halbe Achswellenbiege-eigenfrequenz oder um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerten oder verminderten Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen oder gleich einem kleinen ganzzahligen Vielfachen davon ist.

- 17 Eisenbahnrad nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Eisenbahnrad aus Stahl besteht, daß sein Radkranz ca. 135 mm breit ist und daß es während seiner mit Verschleiß und Nacharbeit verbundenen Betriebszeit einen durchschnittlichen Laufkreisdurchmesser von ca. 85 cm aufweist.
- 18 Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 9 oder teilweisen Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß am unbefederten, nicht rotierenden Teil des Radsatzlagers und/oder am Gleis Resonanzabsorber angebracht sind, deren Eigenfrequenz gleich einer der Achswellenbiege-eigenfrequenzen und/oder einer der Gleiseigenfrequenzen ist.

- 19 Einrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß die Resonanzabsorber an der Schiene und/oder Schwelle angebracht sind.
- 20 Einrichtung nach Anspruch 18 und 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Resonanzabsorber mit der Schienenverbindung an der Schwelle verbunden sind oder daß diese Schienenverbindung oder Teile davon als Resonanzabsorber ausgebildet sind.
- 21 Einrichtung nach Anspruch 18, 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingungsrichtung der Resonanzabsorber vertikal ist.

Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln und Einrichtungen zur Durchführung der Verfahren

Die Erfindung bezieht sich auf Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln und Einrichtungen zur Durchführung der Verfahren.

Die Schienenriffeln in Eisenbahngleisen, über die zum erstenmal Ende der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts und inzwischen sehr häufig berichtet wurde und deren Erforschung heute auch Gegenstand staatlich geförderter Forschungsbemühungen ist, sind die Quelle einer starken Geräuschabstrahlung bei der Befahrung der Gleise. Die mechanischen Erschütterungen, die dabei hervorgerufen werden, führen darüber hinaus zu einer raschen Lockerung der Schienenbefestigung und zu starker Materialbeanspruchung. Das Abschleifen der Schienenriffeln ist kostspielig und verhindert nicht das neuerliche Auftreten der Schienenriffeln.

Seit dem Bekanntwerden der Schienenriffeln wurden Mittel und Wege gesucht, Schienenriffeln gar nicht erst entstehen zu lassen. Durch die Veröffentlichungen [1,2,3] und die DT-AS 22 10 581 ist bekannt, daß hochfrequente Ultraschallschwingungen eine wesentliche Rolle bei der Erzeu-

gung der Schienenriffeln spielen. In Schienenquerrichtung stehende Ultraschallwellen sind die Ursache der äquidistanten "weißen" Längsstreifengruppen, als die sich die Schienenriffeln zunächst darstellen. Die Längsstreifen erscheinen, aus geeigneter Richtung betrachtet, weiß, weil diese Stellen offenbar einer geringeren Korrosion unterliegen und einfallendes Licht besser reflektieren als benachbarte Stellen der Schienenfahrfläche. Die weißen Längsstreifen dürften Reibmartensitschichten darstellen, sie wachsen durch viele Überrollungen langsam in Querrichtung zusammen und werden wegen ihrer geringeren Korrosion und größeren Härte weniger abgetragen. An ihrer Stelle bildet sich ein Riffelberg aus, während die weniger harte dunkelbleibende Stelle stärkeren Korrosionsangriffes zum Riffeltal wird.

Ein Weg, die Riffelbildung zu vermeiden, stellt die ultraschallschwächende Ausführung des Schienenkopfs und/oder die Ankopplung ultraschallabsorbierender Werkstoffe an den Schienenkopf dar, wie sie in der obengenannten DT-AS 22 10 581 beschrieben sind.

In den Veröffentlichungen [1,2,3] wurde gezeigt, daß auf Eisenbahnradern entstehende Riffeln im Zusammenhang stehen müssen mit axialen Biegeeigenschwingungen des Radkörpers. Auf einem Versuchs-Rollstand hatten sich bei jeweils bestimmten Geschwindigkeiten, die längere Zeit ein-

gehalten wurden, Radriffeln ausgebildet, die in ihren Abständen den jeweils gefahrenen Geschwindigkeiten proportional waren. Das Verhältnis von Geschwindigkeit zu Riffelabstand konnte als Eigenfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung gedeutet werden.

Es liegt nun einerseits nahe anzunehmen, daß auch die Abstände der Schienenriffeln, wie sie in geraden oder nur schwach gekrümmten Streckenabschnitten vorkommen, durch axiale Biegeeigenschwingungen der darüberrollenden Eisenbahnräder bestimmt sind. Andererseits sollte aber wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeit, mit der Eisenbahnräder über die gleichen Schienen rollen - man denke an schnelle Reisezüge und langsame Güterzüge oder an auf freier Strecke anhaltende und anfahrende Züge -, die Ausprägung diskreter Schienenriffeln unterbleiben. Hier ist nun die Tatsache bedeutsam, daß - wie in [4] beschrieben - auf allen Strecken, den langsamer wie den schneller befahrenen Strecken, ein gleicher durchschnittlicher Riffelabstand von etwa 4,3 cm gefunden wurde. Dies ist mit der Vorstellung der Erzeugung der Schienenriffeln durch axiale Biegeeigenschwingungen des Eisenbahnrades nur dann vereinbar, wenn man annimmt, daß die Riffeleinprägung bei einer bestimmten - relativ niedrigen - Geschwindigkeit stattfindet. Diese Geschwindigkeit sollte, wenn man von der in [5] angegebenen Grundfrequenz des ruhenden Eisen-

bahnrades von 340 Hz ausgeht, bei etwa $340 \text{ [Hz]} \cdot 4,3 \text{ [cm]}$
 $= 14,6 \text{ m/s} = 52,5 \text{ km/h}$ liegen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren und Einrichtungen zu schaffen, mit denen die Entstehung von Schienenriffeln vermieden wird.

Der Grundgedanke der erfinderischen Überlegungen ist, daß in der Umgebung der vorgenannten Geschwindigkeit eine große Schwingungsamplitude zwischen Rad und Schiene auftreten kann, hervorgerufen durch Resonanz einer Gleiseigenschwingung oder einer Achswellenbiegeeigenschwingung mit einer Schwingung geschwindigkeitsproportionaler Frequenz, die unter der gegebenen Voraussetzung nichtlinearer Kontaktkräfte die Folge einer beim rollenden Rad auftretenden Schwebung ist.

Eine Schwebung des Rades ergibt sich dann, wenn eine Eigenfrequenz des ruhenden Rades proportional zur Rollgeschwindigkeit in eine geringere und eine größere Frequenz aufspaltet. Dieser Vorgang ist so zu verstehen, daß beim Rad die Radkranzbiegeschwingung aus zwei in verschiedener Richtung das Rad umlaufenden Radkranzbiegewellen zusammengesetzt zu denken ist. Beim ruhenden Rad besitzen beide fortschreitenden Wellen die gleiche Frequenz; bei rollendem Rad erfährt die im Drehsinn des Rades fortschreitende Welle eine

~~- 8 -~~
12

Frequenzvergrößerung und die gegen den Drehsinn fortschreitende Welle eine Frequenzverkleinerung jeweils vom gleichen Betrag Δf . Der Betrag ist außer von der Rollgeschwindigkeit v vom Laufkreisumfang u und der auf den Ruhezustand bezogenen Zahl von Knotendurchmessern ($n=2,3,\dots$) des Eisenbahnrades abhängig, er ist in der Veröffentlichung [6] angegeben zu:

$$\Delta f = \frac{n^2}{u} H(n) \cdot v \quad (1)$$

worin

$$H(n) = \frac{3n^2 - 1}{n(n^2 - 1)} - \frac{n}{n^2 + 1,28}$$

Die Überlagerung beider fortschreitender Wellen ergibt jeweils am Ort der Berührungsfläche eine Schwebung mit dem erwähnten Betrag Δf als Schwebungsfrequenz. Die nicht-linearen Kontaktkräfte zwischen Rad und Schiene lassen die obengenannte Resonanz bei einer Frequenz erwarten, die doppelt so groß wie Δf ist.

Eine Berechnung mit Gleichung (1) zeigt, daß bei dem normalen Eisenbahnrad von 92 cm Laufkreisdurchmesser, bei der Grundfrequenz der axialen Radkranzbiegeschwingung ($n = 2$) und einer Rollgeschwindigkeit von 57 km/h = 15,85 m/s $\Delta f = 32$ Hz ist:

709844/0124

$$\Delta f = \frac{2^2 \cdot 1,46}{0,92 \cdot \pi} \cdot 15,85 = 32 \text{ Hz}$$

worin 1,46 der zahlenmäßige Wert von $H(n)$ für $n = 2$ ist.

Die aus der Schwebung durch nichtlineare Kontaktkräfte entstehende Schwingung besitzt also eine Frequenz von $2 \cdot 32 \text{ Hz} = 64 \text{ Hz}$. Für die Richtigkeit des o. g. Grundgedankens der erfinderischen Überlegung spricht, daß einerseits 64 Hz als Durchschnittswert der Grundfrequenz des Gleises mit 65 cm Schwellenteilung gefunden wurde [4] und daß andererseits die genannte Geschwindigkeit von 57 km/h nahe bei der Geschwindigkeit von 52,5 km/h liegt, die sich als Produkt aus dem in [5] angegebenen Riffelabstand und der Grundfrequenz des normalen Eisenbahnrades ergab.

Für die Richtigkeit der vorgenannten Überlegungen spricht außerdem, daß sich auf Schienen Riffeln finden, die das Bild einer Schwebung aufweisen [6]. Dabei treten die Riffeln etwa mit dem o. g. Abstand von 4,3 cm klar ausgeprägt auf, geraten aber periodisch ca. alle 25 cm "außer Tritt". Dieses stimmt qualitativ und quantitativ mit dem Ergebnis einer Berechnung überein, die mittels einer aufgrund vorgenannter Überlegungen abgeleiteten Formel für die Schwebungslänge S angestellt worden ist:

- 14 -

$$S = \frac{u}{n^2 H(n)}$$

Für ein normales Eisenbahnrad von 92 cm Laufkreisdurchmesser ergibt sich demnach bei der Grundfrequenz der axialen Radkranzbiegeschwingung ($n=2$) mit null Knotenkreisen eine Schwebungslänge von

$$S = \frac{0,92 \cdot \pi}{2^2 \cdot 1,46} = 0,49 \text{ m,}$$

wobei sich die Schwebung infolge der nichtlinearen Kontaktkräfte in halber Länge von S - mit ca. 25 cm - auf der Schiene "abbildet".

Der erste von mehreren aus dem Vorstehenden sich ergebenden erfindungsgemäßen Gedanken ist folgender:

Unterdrückt man von den beiden obengenannten im und gegen den Drehsinn fortschreitenden Radkranzbiegewellen mindestens eine, dann kann sich keine Schwebung und damit keine Schwingung ausbilden, die mit der Eigenschwingung des Gleises oder der Achswelle in Resonanz treten kann. Es gibt danach keine "Resonanz"-Geschwindigkeit, bei der sich wegen relativ großer Bewegungsamplitude und damit großer Kontaktkräfte zwischen Rad und Schiene diskrete Riffeln einprägen können. Die Riffelbildung wird, wenn nur solche Räder die Schiene überrollen, gar nicht eintreten können.

Die Frequenzunterdrückung kann beispielsweise dadurch erfolgen, daß an sich bekannte [8], am Rad angreifende Resonanzabsorber auf die um die halbe Gleiseigenfrequenz oder die halbe Achsbiegeeigenfrequenz vergrößerte oder verkleinerte Radkranzbiegeeigenfrequenz des ruhenden Rades eingestellt werden, beispielsweise im Fall einer Radkranzbiegeeigenfrequenz von 340 Hz und einer Gleiseigenfrequenz von 64 Hz auf $340 + \frac{64}{2} = 372$ Hz oder $340 - \frac{64}{2} = 308$ Hz.

Ein zweiter erfindungsgemäßer Gedanke besteht in folgendem: Anstelle einer Unterdrückung einer von den beiden möglichen in verschiedenem Sinne um das Eisenbahnrad umlaufenden Radkranzbiegewellen wird eine der Biegewellen vorzugsweise angeregt, so daß die jeweils andere Welle erst gar nicht entsteht. Zu der Anregung werden die Rayleighwellen genutzt, die in der Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene bei den nichtlinearen Vorgängen erzeugt werden und deren Wellenlänge klein gegen die Querschnittsabmessungen des Radkranzes und insbesondere klein gegen den Raddurchmesser ist, und die sich auf Stahlrädern mit einer Geschwindigkeit C_R von 2950 m/s nur wenig gedämpft längs der Radlauf- fläche ausbreiten. Da aus den Veröffentlichungen [1,2,3] bekannt ist, daß der Wirkung Rayleighscher Oberflächenwellen- impulse periodische Verschleißerscheinungen auf Radlauf- flächen zugeordnet werden können, darf vielmehr auch eine Wechselwirkung zwischen den tonfrequenten Biegewellen und

den ultraschallfrequenten Rayleighwellen erwartet werden. Die Wechselwirkung wird dann besonders groß sein, wenn die Rayleighwellen-Impulsumlaufsfrequenz gleich einer der beiden möglichen Radkranzbiegewellenfrequenzen oder gleich einem kleinen ganzzahligen Vielfachen davon ist. Da die Biegewellenfrequenzen und die Rayleighwellen-Impulsumlaufsfrequenz verschiedene Funktionen des Laufkreisdurchmessers des Eisenbahnrades darstellen, führt die vorgenannte Bedingung zu einer Bestimmungsgleichung für den jeweils - zur Riffelvermeidung - günstigsten Laufkreisdurchmesser d, wie im folgenden und in der Veröffentlichung [6] explizit gezeigt.

Setzt man beispielsweise die Rayleighwellen-Impulsumlaufsfrequenz gleich dem Dreifachen der um die halbe Gleisgrundfrequenz f_{Sm} verminderten Grundfrequenz f_2 (2 Knotendurchmesser, null Knotenkreise) des Rades, dann ergibt sich daraus eine Bestimmungsgleichung für den Durchmesser eines Rades, das in seinen übrigen Abmessungen und in seinem Werkstoff dem "Normalrad" der meisten europäischen Eisenbahnen von 92 cm Laufkreisdurchmesser entspricht:

$$d = - \frac{C_R}{3 \pi f_{Sm}} + \sqrt{\left(\frac{C_R}{3 \pi f_{Sm}} \right)^2 + 0,92^2 f_2 \frac{2}{f_{Sm}}}$$

Setzt man in diese Gleichung empirische Werte ein, für $f_{Sm} = 64$ Hz und für $f_2 = 340$ Hz, so erhält man einen gün-

709844/0124

- 10 -

stigen Raddurchmesser für das "Normalrad" von ca. 85 cm, bei dem die umlaufenden Rayleighwellen eine der beiden Biegewellen bevorzugt anregen. Im Vergleich dazu stellt sich das Rad mit 92 cm Laufkreisdurchmesser, weil bei ihm die umlaufenden Rayleighwellenimpulse beide möglichen Biegewellen gleichstark anregen - wie in [6] gezeigt wird - als die Bildung der Schienenriffeln besonders fördernd dar.

Dem Grundgedanken zur Riffelentstehung entsprechend können Schienenriffeln erfindungsgemäß auch vermieden werden, wenn die vorgenannten Gleis- und/oder Achswellenbiege-Eigen-schwingungen unterdrückt werden. Das kann dadurch bewirkt werden, daß am unabgefederten, nicht rotierenden Teil des Radsatzlagers und/oder am Gleis Resonanzabsorber angebracht sind, deren Eigenfrequenz gleich einer der Achswellenbiege-eigenfrequenzen und/oder einer der Gleiseigenfrequenzen ist.

Im Gleis wären die Resonanzabsorber beispielsweise an der Schiene oder Schwelle oder an der Verbindungsstelle von Schiene und Schwelle anzubringen, beim Fahrzeug wäre beispielsweise das nicht abgefederte Radsatzlager ein Angriffspunkt des Resonanzabsorbers.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich ferner eine Empfehlung zur Fahrweise auf den Eisenbahnstrecken, und zwar sollte der Geschwindigkeitsbereich, in dem sich vorzugsweise Riffeln bilden, möglichst gemieden bzw. schnell durchfahren werden. Die in dieser Hinsicht "kritische" Geschwindigkeit V_R ergibt sich aus vorstehenden Überlegungen zu

$$V_R = \frac{f_{Sm}}{2 n^2} \frac{u}{H(n)},$$

wobei ggf. statt der Grundfrequenz f_{Sm} der Gleiseigenschwingung die Frequenz der ersten Biegeeigenschwingung der Achswelle einzusetzen ist (die, wie empirisch gefunden wurde, verschiedentlich übereinstimmen). Bei $f_{Sm} = 64$ Hz liegt demnach für ein Rad mit einem Laufkreisdurchmesser von 0,92 m die riffelbildende Geschwindigkeit bei ca. 15,5 m/s = 56 km/h.

Zusammengefaßt ist also zu sagen:

Die Aufgabe, ein Verfahren zur Vermeidung von Schienenriffeln zu schaffen, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst - einzeln oder in Kombination -, daß am Eisenbahnrad die um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz oder um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerte oder verminderte Grundfrequenz der axialen Biegeeigenschwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen bevorzugt gedämpft oder/und die

jeweils andere der beiden Frequenzen bevorzugt angeregt wird. Ein anderes erfindungsgemäßes Verfahren zur Lösung der vorliegenden Aufgabe besteht darin, daß am Radsatz, am unabgefederten Teil des Laufwerkes und/oder am Gleis eine der Achswellenbiegeeigen-schwingungen und/oder eine der Gleiseigen-schwingungen gedämpft wird. Ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren besteht darin, daß in dem Geschwindigkeitsbereich, in dem sich vorzugsweise Riffeln bilden, Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit vermieden werden und daß dieser Geschwindigkeitsbereich beim Beschleunigen und Verzögern schnell durchfahren wird. Die Aufgabe der Schaffung von Einrichtungen zur Vermeidung von Riffeln wird in Anwendung der erfindungsgemäßen Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß an geeigneten Stellen des Radsatzes, des Laufwerkes und/oder des Gleises Resonanzabsorber angebracht bzw. daß ohnehin notwendige Bauteile als Resonanzabsorber ausgebildet sind. Eine besonders günstige erfindungsgemäße Einrichtung stellt ein Eisenbahnrad dar, das unter Berücksichtigung seines Werkstoffes so dimensioniert ist, daß die Umlauffrequenz der von der Berührungsfläche zwischen Rad und Schiene ausgehenden Rayleighwellenimpulse gleich der um die halbe Achswellenbiegeeigenfrequenz oder um die halbe Gleiseigenfrequenz vergrößerten oder verminderten Grundfrequenz der axialen Biegeeigen-schwingung des ruhenden Eisenbahnrades mit null Knotenkreisen oder gleich einem kleinen ganzzahligen Vielfachen davon ist.

Weitere erfindungsgemäße Ausgestaltungen gehen, soweit sie nicht im vorhergehenden beschrieben sind, aus den Unteransprüchen hervor. Die Erfindung betrifft Eisenbahnen im allgemeinen Sinne, also auch Straßen- und Untergrundbahnen.

In Betracht gezogene Druckschriften:

- 1 Werner, K.: Riffeln und Grübchen auf Roll- und Wälzkörpern - sind sie ultraschallbedingt? Eisenbahntechn. Rundschau Band 22 (1973), S. 142...149.
- 2 Werner, K.: Radriffeln und periodischer Grübchenverschleiß bei Rollstandsversuchen durch Wechselwirkungen mit tonfrequenten Eigenschwingungen und kohärenten Ultraschallfeldern. Archiv für Eisenbahntechnik Folge 28 (1973), S. 1...27.
- 3 Werner, K.: Corrugation and Pitting of Rolling Surfaces - Are they contingent upon Ultrasonics? Wear 32 (1975), S. 233...248.
- 4 Birmann, F.: Schienenriffeln, ihre Erforschung und Verhütung VDI-Z. Band 100 (1958), S. 1251...1262 und S. 1453...1462.

- 5 Taschinger, O.: Der gegenwärtige Stand in der Untersuchung des Geräuschproblems von fahrenden Eisenbahnen. Glasers Ann. Band 75 (1951), Nr. 10 S. 242...249; Nr. 11 S. 269...274.
- 6 Werner, K.: Schienenriffeln als Resonanzeffekt bei geschwindigkeitsabhängiger Frequenzaufspaltung von Radkranz-Biegeeigenschwingungen und nichtlinearen Kontaktkräften zwischen Rad und Schiene. Zur Veröffentlichung in der Eisenbahntechn. Rundschau am 19.01.1976 unter Nr. 615 vom Hestra-Verlag registriert.
- 7 Betzhold, C.: Erhöhung der Beanspruchung des Eisenbahnoberbaues durch Wechselwirkungen zwischen Fahrzeug und Oberbau. Glasers Ann. Band 81 (1957), Nr. 3 S. 76...82, Nr. 4 S. 108...115 und Nr. 5 S. 137...145.
- 8 Stappenbeck, H.: Das Kurvengeräusch der Straßenbahn - Möglichkeiten zu seiner Unterdrückung. VDI-Z. Band 96 (1954) S. 171...175.